

# 光暗条件下蔗糖和大量元素对兰州百合鳞茎生长的影响

尹燕, 杨道兰, 梁玉文, 冯炜弘, 牛慧婷, 李爱兵  
(兰州市农业科技研究推广中心, 甘肃 兰州 730000)

**摘要:** 为了探究兰州百合试管鳞茎膨大培养基最佳配方和培养条件, 解决试管苗移栽成活率低的问题, 以兰州百合鳞片诱导形成的小鳞茎为试验材料, 研究光暗不同培养条件下蔗糖和大量元素对兰州百合试管鳞茎生长和膨大的影响。在光照(12 h/d光照)和黑暗(24 h/d黑暗)条件下, 设置不同质量浓度蔗糖(90 g/L、120 g/L、150 g/L)和不同浓度的大量元素(MS、2MS、3MS)组合处理, 培养60 d后测定其鳞茎直径、鲜重、叶长等相关指标。结果表明, 蔗糖和大量元素均对兰州百合试管鳞茎生长和膨大有显著的影响, 且两者存在显著的交互作用, 光照条件下鳞茎生长指数和鳞茎鲜重百分比均大于黑暗条件。根据生产实际, 推荐适合兰州百合鳞茎膨大的组合为2MS+蔗糖120 g/L+NAA 0.2 mg/L, 培养条件为1 500~2 000 lx下光照12 h/d。

**关键词:** 兰州百合; 试管鳞茎; 膨大; 蔗糖; 大量元素; 光周期

**中图分类号:** S644.1

**文献标志码:** A

**文章编号:** 2097-2172(2023)03-0254-06

**doi:** 10.3969/j.issn.2097-2172.2023.03.012

## Effects of Sucrose and Macro Elements on the Growth and Enlargement of *Lilium davidii* var. *unicolor* Bulblets *in vitro* Under Cultural Conditions

YIN Yan, YANG Daolan, LIANG Yuwen, FENG Weihong, NIU Huiting, LI Aibing  
(Lanzhou Agricultural Science and Technology Research Extension Centre, Lanzhou Gansu 730000, China)

**Abstract:** In order to explore the optimal medium formula and conditions for Lanzhou Lily (*Lilium davidii* var. *unicolor*) bulb enlargement *in vitro*, and to address the issue of low survival rate of tube seedling transplantation, the effects of sucrose and macro elements on bulb growth and enlargement of Lanzhou Lily *in vitro* were researched under different cultural conditions and the bulblets of Lanzhou Lily induced by scales were selected as experimental materials. The experiments were conducted using three different concentrations of sucrose (90 g/L, 120 g/L, 150 g/L) and different concentrations of macro element (MS, 2MS, 3MS) under the conditions of light (12 h/d light) and dark (24 h/d dark) and morphological indexes such as diameter, fresh weight, length of bulblets were measured after 60 d of culture. The results showed that sucrose and macro elements had significant effects on the growth and enlargement of *in vitro* bulblets, furthermore, there was a significant interaction between them. The growth index and percentage of bulb fresh weight under light condition were higher than those under dark condition. According to the actual production situation, the suitable combination for bulb enlargement of Lanzhou Lily was 2MS plus 120 g/L sucrose plus 0.2 mg/L NAA, and the illumination intensity was 1 500 to 2 000 lx for 12 h/d.

**Key words:** *Lilium davidii* var. *unicolor*; Bulblet *in vitro*; Enlargement; Sucrose; Macro element; Photoperiod

兰州百合(*Lilium davidii* var. *unicolor*)为百合科百合属球根植物, 是川百合的一个变种<sup>[1]</sup>, 因其高的含糖量、独特的风味, 成为我国三大主栽食用百合品系中的佼佼者<sup>[2-3]</sup>, 先后被认定为我国地理标志产品和甘肃省名优特产<sup>[4-5]</sup>。近年来, 随着百合产业的高速发展, 种植面积逐步扩大,

进而对百合种球的需求量和质量也提出了新的要求<sup>[6]</sup>。在实际生产中, 兰州百合仍采用传统的农户自留种繁育方法, 存在繁殖系数低、易感染病毒、病毒逐年积累等一系列问题<sup>[7]</sup>, 进而导致产量低、品种退化严重、千字头多、黄化严重等一系列种性退化现象的发生。通过组织培养技术可

收稿日期: 2022-08-17

基金项目: 陇原青年创新创业人才项目(2022LQGR16);甘肃省重点研发计划项目(22YF7NA028)。

作者简介: 尹燕(1983—), 女, 甘肃金昌人, 高级农艺师, 硕士, 主要从事种质资源选育与采后生物学研究。Email: 544895391@qq.com。

大大地提高繁殖系数和加快品种培育,但在生产中也存在试管苗长势弱、移栽成活率低等问题<sup>[8]</sup>。通过对培养条件的改善,不断使其鳞茎膨大,可有效地起到壮苗和提高移栽成活率的作用<sup>[9-10]</sup>。

研究表明,一定质量浓度的蔗糖和大量元素均可促进百合鳞茎的膨大<sup>[8,11]</sup>。在兰州百合方面也有相关报道,秦新惠等<sup>[7]</sup>研究了蔗糖、活性炭等单因子或多因子组合对兰州试管鳞茎膨大的影响,表明蔗糖等因子均对试管鳞茎膨大有一定的促进作用;牛慧婷等<sup>[12]</sup>研究发现,高浓度的大量元素和蔗糖均有利于促进兰州百合试管鳞茎的膨大,但未对大量元素和蔗糖的组合处理进行研究。

光周期对百合试管鳞茎的诱导和膨大的影响在野生卷丹、泸定百合及东方百合“Siberia”等<sup>[13-15]</sup>已有相关研究,但关于光周期对兰州百合试管鳞茎的生长和膨大未见相关报道。我们以兰州百合鳞片诱导形成的百合小鳞茎为试验材料,研究在不同的光照培养条件下大量元素与蔗糖组合处理对百合鳞茎生长和膨大的影响,旨在寻找兰州百合试管鳞茎膨大的最佳配方和培养条件,解决试管苗移栽成活率低的问题,为生产优质兰州百合种球提供技术支持。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

兰州百合采自兰州市七里河区西果园镇堡子村。以兰州百合鳞片作为外植体,将经过丛芽诱导、丛芽增殖的丛芽体接种于 MS+NAA 0.2 mg/L+蔗糖 90 g/L+琼脂 5 g/L 的培养基中诱导形成的小鳞茎(平均直径 4 mm 左右,平均鲜重 0.2 g 左右)为供试材料。

### 1.2 试验方法

1.2.1 试验设计 采用双因素试验设计。因素 1 为大量元素浓度,设 MS、2MS、3MS 3 个处理,分别记为 A<sub>1</sub>、A<sub>2</sub>、A<sub>3</sub>;因素 2 为蔗糖浓度,设 90、120、150 g/L 3 个处理,分别记为 B<sub>1</sub>、B<sub>2</sub>、B<sub>3</sub>。

将诱导形成的小鳞茎在无菌条件下分割成单独的小鳞茎,切取上部的叶和下部的根后接种在均含 NAA 0.2 mg/L 的 9 种培养基上(表 1),分别置于光照 12 h/d、黑暗 24 h/d,光照强度为 1 500 ~ 2 000 lx,温度(25 ± 2)℃条件下进行试管鳞茎的膨大培养。每处理 30 瓶,每瓶接种 6 个小鳞茎。

表 1 蔗糖和大量元素组合处理

处理组合	大量元素	蔗糖/(g/L)
A <sub>1</sub> B <sub>1</sub>	MS	90
A <sub>1</sub> B <sub>2</sub>	MS	120
A <sub>1</sub> B <sub>3</sub>	MS	150
A <sub>2</sub> B <sub>1</sub>	2MS	90
A <sub>2</sub> B <sub>2</sub>	2MS	120
A <sub>2</sub> B <sub>3</sub>	2MS	150
A <sub>3</sub> B <sub>1</sub>	3MS	90
A <sub>3</sub> B <sub>2</sub>	3MS	120
A <sub>3</sub> B <sub>3</sub>	3MS	150

1.2.2 指标测定 培养 60 d 后,从培养瓶中取出组培苗,在自来水下冲去培养基,沥干水分后称其总鲜重,同时测量叶长、根长、根粗及根数。再去除叶和根后测定鳞茎鲜重、鳞茎直径。每水平观测 10 株,重复 3 次,求平均值,计算生长指数<sup>[14]</sup>、鳞茎鲜重百分比<sup>[13]</sup>。

生长指数(%)=[(鳞茎鲜重 - 鳞茎初始鲜重)/鳞茎初始鲜重] × 100%

鳞茎鲜重百分比(%)=(鳞茎鲜重/试管苗总鲜重) × 100%

1.2.3 试验数据统计分析 试验数据利用 Excel 2010 和 SPSS16.0 进行统计分析,采用塔姆黑尼法进行分析比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 光照条件下蔗糖和大量元素组合处理对百合鳞茎生长和膨大的影响

由表 2 和图 1 可知,在光照条件下,蔗糖和大量元素组合处理对兰州百合试管鳞茎的生长和膨大有显著影响。

随着大量元素浓度的增加,鳞茎生长指数显著提高,其中 3MS 和 2MS 处理分别比 MS 处理提高了 59.91%、75.34%;鳞茎鲜重百分比显著提高,3MS 和 2MS 处理分别比 MS 处理提高了 97.90%、22.92%;鳞茎鲜重、鳞茎直径均呈明显上升趋势,大量元素浓度为 3MS 时鳞茎鲜重及直径分别达到了最大值;根长、根粗、根数显著下降,均未观察到生根现象的发生;叶长表现为降低的趋势,MS 和 2MS 处理时,叶长无显著差异,而大量元素浓度增至 3MS 时叶长减小至 MS 的

表 2 光照条件下不同组合处理的兰州百合试管鳞茎生长指标调查结果<sup>①</sup>

编号	叶长/cm	根长/cm	根粗/mm	根数/个	总鲜重/g	鳞茎			生长指数
						直径/cm	鲜重/g	鲜重百分比/%	
A <sub>1</sub> B <sub>1</sub>	12.53±0.25Aa	3.44±0.39Aa	1.00±0.07Ab	10.10±1.47Aa	1.67±0.06Ba	7.96±0.77Cc	0.45±0.03Cc	26.90±1.38Cc	125.33±16.61Cb
A <sub>1</sub> B <sub>2</sub>	12.46±0.50Ab	4.19±0.23Aa	1.77±0.07Aa	12.24±1.19Aac	1.09±0.01Bb	10.21±1.82Cb	0.40±0.02Cb	37.03±2.42Cab	151.67±15.56Ca
A <sub>1</sub> B <sub>3</sub>	4.13±0.11Ac	2.07±0.19Ab	1.22±0.08Ab	9.79±1.49Abc	1.15±0.09Bc	12.57±0.93Ca	0.58±0.04Ca	51.45±4.70Ca	192.33±21.92Ca
A <sub>2</sub> B <sub>1</sub>	16.21±0.64Aa	3.23±0.33Ba	0.99±0.12Bb	9.03±1.43Ba	2.03±0.08Aa	8.65±1.32Bc	0.54±0.04Bc	26.45±2.36Bc	168.00±19.24Bb
A <sub>2</sub> B <sub>2</sub>	9.46±0.37Ab	1.60±0.15Ba	1.41±0.08Ba	5.07±1.14Bac	1.46±0.09Ab	12.23±0.72Bb	0.85±0.08Bb	58.04±5.31Bab	323.00±20.14Ba
A <sub>2</sub> B <sub>3</sub>	4.63±0.09Ac	0.94±0.14Bb	1.01±0.07Bcb	3.97±0.93Bbc	1.26±0.05Ac	12.34±0.82Ba	0.72±0.03Ba	57.34±3.34Ba	259.50±13.22Ba
A <sub>3</sub> B <sub>1</sub>	11.92±1.03Ba	0.00±0.00Ca	0.00±0.00Cb	0.00±0.00Ca	1.07±0.09Ca	10.96±0.58Ac	0.62±0.02Ac	58.66±5.48Ac	210.17±10.54Ab
A <sub>3</sub> B <sub>2</sub>	6.62±0.35Bb	0.00±0.00Ca	0.00±0.00Ca	0.00±0.00Cac	1.28±0.11Cb	12.38±0.87Ab	1.03±0.05Ab	80.92±7.67Aab	310.67±21.71Aa
A <sub>3</sub> B <sub>3</sub>	3.07±0.24Bc	0.00±0.00Cb	0.00±0.00Cb	0.00±0.00Cbc	1.27±0.11Cc	12.91±0.54Aa	1.13±0.11Aa	88.76 2.99Aa	302.07 39.84Aa

①同列数据后的不同大写字母表示不同大量元素浓度处理组间在  $P<0.05$  水平差异有统计意义，不同小写字母表示不同质量蔗糖浓度处理组间在  $P<0.05$  水平差异有统计意义。

74.20%。

随着蔗糖质量浓度的不断增加，鳞茎生长指数显著提高，但 150 g/L 和 120 g/L 蔗糖处理间差异不显著，分别比 90 g/L 蔗糖处理提高了 49.73% 和 55.98%。鳞茎鲜重百分比显著提高，150 g/L 和 120 g/L 蔗糖处理分别比 90 g/L 蔗糖处理提高了 76.37% 和 57.12%。鳞茎鲜重、鳞茎直径均呈明显上升趋势，150 g/L 蔗糖处理下鳞茎鲜重及直径分别比 90 g/L 蔗糖处理提高了 50.93% 和 37.18%。根长逐渐下降，90 g/L 蔗糖和 120 g/L 蔗糖处理间差异不显著；根粗表现为先增加后降低的趋势，90g/L 蔗糖和 150 g/L 蔗糖处理间差异不显著。根数逐步下降，90 g/L 和 120 g/L 蔗糖处理间差异不显著。

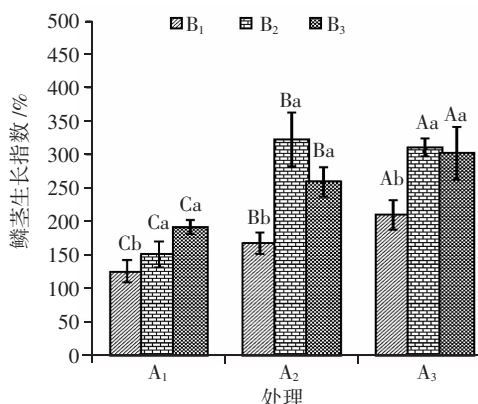


图 1 光照条件下不同蔗糖和大量元素组合处理的百合鳞茎生长指数

由主效应和交互作用方差分析(表 3)可知，在光照培养条件下蔗糖浓度和大量元素浓度存在显著的交互作用，更多地表现为协同作用。综合考虑生产实际，将 A<sub>2</sub>B<sub>2</sub> 处理作为光照条件下兰州百

表 3 光照条件下双因素随机区组试验方差分析

指标	变异来源	F	P <sup>①</sup>
总鲜重	A	543.429	0.000***
	B	555.715	0.000***
	A*B	378.116	0.000***
鳞茎鲜重	A	1 426.376	0.000***
	B	612.038	0.000***
	A*B	197.912	0.000***
鳞茎鲜重百分比	A	1 819. 034	0.000***
	B	1 032. 654	0.000***
	A*B	48.257	0.000***
生长指数	A	589.610	0.000***
	B	403.159	0.000***
	A*B	59.914	0.000***
叶长	A	936.477	0.000***
	B	8 823. 053	0.000***
	A*B	450.883	0.000***
根长	A	5423.614	0.000***
	B	836.055	0.000***
	A*B	453.961	0.000***
根粗	A	9 516.246	0.000***
	B	813.081	0.000***
	A*B	250.710	0.000***
根数	A	2330. 062	0.000***
	B	66.816	0.000***
	A*B	85.967	0.000***
鳞茎直径	A	75.390	0.000***
	B	276.579	0.000***
	A*B	22.298	0.000***

① 数据中所显示的显著度以 F 值为基础，其中 \* 表示  $P<0.05$ ，\*\* 表示  $P<0.01$ ，\*\*\* 表示  $P<0.001$ 。

合试管鳞茎膨大的最佳组合。

## 2.2 黑暗条件下蔗糖和大量元素组合处理对百合鳞茎生长和膨大的影响

由表 4 和图 2 可知，在黑暗条件下，蔗糖和

表 4 黑暗条件下不同组合处理的兰州百合试管鳞茎生长指标调查结果<sup>①</sup>

编号	叶长 /cm	根长 /cm	根粗 /mm	根数 /个	总鲜重 /g	鳞茎			生长指数
						直径 /cm	鲜重 /g	鲜重百分比 /%	
A <sub>1</sub> B <sub>1</sub>	15.30±1.07BCa	5.76±0.41Aa	1.36±0.12Aa	9.93±1.34Aa	1.14±0.08Ba	8.48±1.03Bb	0.38±0.02Cb	28.67±2.10Bc	87.61±10.83Cb
A <sub>1</sub> B <sub>2</sub>	6.75±0.46BCb	5.11±0.54Aa	1.75±0.11Aa	10.00±1.05Aa	1.16±0.12Bb	8.58±1.21Ba	0.41±0.02Cc	35.98±5.81Bb	105.82±11.80Ca
A <sub>1</sub> B <sub>3</sub>	0.00±0.00Bc	2.61±0.26Ab	0.96±0.09Ab	9.48±1.53Aba	0.79±0.08Bc	8.53±1.05Ba	0.47±0.03Cac	59.81±6.88Ba	133.80±13.20Ca
A <sub>2</sub> B <sub>1</sub>	12.14±0.75Aa	3.02±0.28Aa	1.77±0.13Aa	8.79±0.92Ba	1.32±0.12Aa	8.59±0.97Ab	0.42±0.02Bb	32.59±3.83Bc	112.23±10.16Bb
A <sub>2</sub> B <sub>2</sub>	9.56±0.77Ab	1.40±0.24Aa	1.11±0.15Aa	8.93±1.08Ba	1.22±0.13Ab	10.89±1.50Aa	0.69±0.03Bc	57.27±6.15Bb	245.20±14.74Ba
A <sub>2</sub> B <sub>3</sub>	9.64±0.99Ac	1.00±0.17Ab	1.10±0.04Ab	5.00±0.79Ba	1.02±0.11Ac	11.42±1.13Aa	0.72±0.03Bac	71.99±7.88Ba	261.57±13.10Ba
A <sub>3</sub> B <sub>1</sub>	13.47±0.93Ba	0.00±0.00Ba	0.00±0.00Ba	0.00±0.00Ca	1.05±0.07Ca	10.58±1.32Ab	0.83±0.03Ab	79.23±4.72Ac	261.22±11.40Ab
A <sub>3</sub> B <sub>2</sub>	9.65±0.76Bbc	0.00±0.00Ba	0.00±0.00Ba	0.00±0.00Ca	1.04±0.18Cb	10.64±1.20Aa	0.89±0.06Ac	88.19±4.93Ab	270.40±26.61Aa
A <sub>3</sub> B <sub>3</sub>	0.00±0.00Bc	0.00±0.00Bb	0.00±0.00Bb	0.00±0.00Ca	0.83±0.08Cc	10.01±1.22Aa	0.83±0.08Aac	100.00±0.00Aa	259.08±24.00Aa

①同列数据后的不同大写字母表示不同大量元素浓度处理组间在  $P < 0.05$  水平差异有统计意义, 不同小写字母表示不同质量蔗糖浓度处理组间在  $P < 0.05$  水平差异有统计意义。

大量元素组合处理对兰州百合试管鳞茎的生长和膨大影响显著。

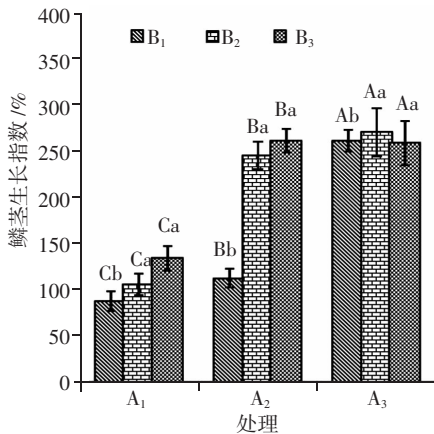


图 2 黑暗条件下不同蔗糖和大量元素组合处理的百合鳞茎生长指数

随着大量元素浓度的增加, 鳞茎生长指数显著提高, 其中 3MS 和 2MS 处理分别比 MS 处理提高了 141.63%、89.15%; 鳞茎鲜重百分比逐步提高, MS 和 2MS 处理间差异不显著, 当大量元素浓度为 3MS 时达到了最大值, 比 MS 处理提高了 114.85%; 鳞茎直径呈明显上升趋势, MS 和 2MS 处理间差异不显著, 大量元素浓度为 3MS 时鳞茎直径达到了最大值, 比 MS 处理提高了 22.04%; 根长、根数、根粗均呈现下降趋势, 大量元素浓度达到 3MS 时均未观察到生根现象的发生; 叶长先升高后降低, 在大量元素浓度为 2MS 时, 叶长达到最大值。

随着蔗糖质量浓度增加, 鳞茎生长指数显著提高, 150、120 g/L 蔗糖处理间差异不显著, 分别比 90 g/L 蔗糖处理提高了 41.94%、34.78%; 鳞

茎鲜重百分比显著提高, 150、120 g/L 蔗糖处理分别比 90 g/L 蔗糖处理提高了 65.00%、29.15%; 鳞茎直径不断增加, 150、120 g/L 蔗糖处理间差异不显著, 分别比 90 g/L 蔗糖处理提高了 8.35%、8.89%; 根长和根粗均呈下降趋势, 90 g/L 蔗糖和 120 g/L 蔗糖处理间差异不显著; 根数表现为各处理间差异不显著。

由主效应和交互作用方差分析(表 5)可知, 在暗培养下, 蔗糖浓度和大量元素浓度存在显著的

表 5 黑暗条件下双因素随机区组试验方差分析结果

指标	变异来源	F	P <sup>①</sup>
总鲜重	A	76.990	0.000***
	B	231.734	0.000***
	A*B	15.334	0.000***
鳞茎鲜重	A	2 582.134	0.000***
	B	292.505	0.000***
	A*B	128.315	0.000***
鳞茎鲜重百分比	A	2 005.129	0.000***
	B	762.970	0.000***
	A*B	39.827	0.000***
生长指数	A	2 114.320	0.000***
	B	412.091	0.000***
	A*B	214.848	0.000***
叶长	A	472.899	0.000***
	B	4 473.608	0.000***
	A*B	755.967	0.000***
根长	A	5 949.326	0.000***
	B	867.842	0.000***
	A*B	323.964	0.000***
根粗	A	6 579.214	0.000***
	B	372.818	0.000***
	A*B	367.208	0.000***
根数	A	2 724.235	0.000***
	B	71.756	0.000***
	A*B	51.027	0.000***
鳞茎直径	A	71.827	0.000***
	B	13.802	0.000***
	A*B	18.933	0.000***

①数据中所显示的显著度以 F 值为基础, 其中 \* 表示  $P < 0.05$ , \*\* 表示  $P < 0.01$ , \*\*\* 表示  $P < 0.001$ 。



交互作用,更多地表现为协同作用。从实际生产角度考虑,可将 A<sub>2</sub>B<sub>2</sub> 处理作为兰州百合试管鳞茎膨大的最佳组合,因此,可将 2MS 与蔗糖 120 g/L 结合处理作为黑暗条件下兰州百合试管鳞茎膨大的最佳组合。

### 2.3 光暗不同培养条件下蔗糖和大量元素组合处理对试管鳞茎膨大影响的比较

通过对前述试验筛选出的最佳组合 A<sub>2</sub>B<sub>2</sub> 的鳞茎生长指数进行比较,由图 3 可知,在光照条件下,鳞茎生长指数比黑暗条件下提高了 31.73%。因此最终确定适合兰州百合试管小鳞茎膨大的最佳条件为:2MS+蔗糖 120 g/L+NAA 0.2 mg/L,培养条件为 1 500~2 000 lx 的下光照 12 h/d。

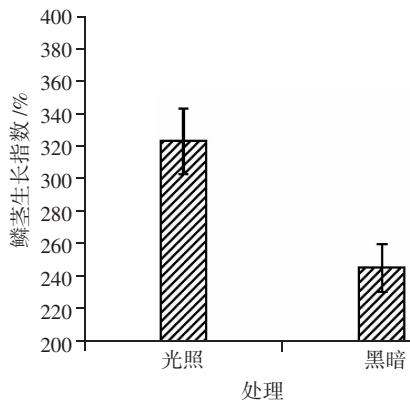


图 3 光暗不同培养条件蔗糖和大量元素组合处理下的百合试管鳞茎生长指数

## 3 讨论与结论

蔗糖作为碳水化合物输送最主要的形式,在植物组织培养中发挥着重要的作用<sup>[15]</sup>。本研究表明,无论在光照还是黑暗条件下,随着蔗糖浓度的增加,鳞茎生长指数、鳞茎鲜重百分比均不断提高。这与王爱勤等<sup>[11]</sup>、张洁等<sup>[16]</sup>的研究结果基本一致。但张延龙<sup>[8]</sup>和刘清波等<sup>[17]</sup>的研究表明,适当提高蔗糖浓度可促进百合鳞茎的增重,促进鳞茎的膨大,而较高浓度蔗糖则会产生一定的抑制作用。这些研究结果均表明高质量浓度的蔗糖有利于百合鳞茎膨大,但所需蔗糖浓度可能与试验材料及培养条件有关。

研究表明,无论是在光照还是在黑暗条件下,随着大量元素浓度的增加,鳞茎生长指数和鳞茎鲜重百分比都显著增加,鳞茎直径和鲜重也都不断增加。这可能是由于随着鳞茎的不断膨大,高

浓度的大量元素能为其提供生长所需的养分,从而促进了鳞茎的生长和膨大,这与张洁等<sup>[16]</sup>、张延龙等<sup>[8]</sup>的研究结果基本一致。但赵海涛<sup>[15]</sup>在研究东方百合“Siberia”试管鳞茎发育时,认为在黑暗条件下,2MS 处理得鳞茎膨大效果好,但畸形现象严重;在光照条件下,鳞茎重量与大量元素浓度呈负相关的关系。造成这种差异的原因可能是试验材料和培养条件不同所致。因此,在对不同的百合品种,甚至是同一品种在不同的条件下培养时所需大量元素有所差异,应通过多因素试验选择合适的培养基。

本研究表明,无论是在光照还是在黑暗条件下,随着大量元素浓度的增加,根长、根数、根粗及叶长均呈下降趋势,当大量元素浓度增加至 3MS 时,均未观察到根发生的现象。造成这种现象的原因可能是随着大量元素浓度的增加,培养基中氮素含量不断增加,而当氮素浓度增加至一定程度时,对百合试管苗的根和叶产生了抑制作用。

本研究发现,光照条件下的鳞茎生长指数和鲜重百分比均高于黑暗条件。一方面可能是由于长时间的暗处理使光合作用受到阻碍,在一定程度上光合作用产物积累减少,进而不利于试管鳞茎的膨大<sup>[13]</sup>;另一方面,可能是在光照条件下鳞茎更能适应高质量浓度的蔗糖,因光合作用的缘故,使培养基中更多的蔗糖被鳞茎吸收转化为淀粉和 CO<sub>2</sub><sup>[18]</sup>,促其鳞茎不断膨大。Kumar<sup>[18]</sup>研究发现在黑暗条件下东方百合“Star Gazer”诱导产生的小鳞茎鲜重达到了最大;赵海涛<sup>[15]</sup>研究表明,光照和黑暗条件对东方百合“Siberia”试管鳞茎的数量、重量及直径均未产生显著性差异;周玲云<sup>[14]</sup>在对泸定百合试管鳞茎的膨大进行研究时得出短日照(小于 8 h/d)利于试管鳞茎的膨大。造成以上不同的研究结果的原因可能与所用试验材料有关。

综上,蔗糖和大量元素均对兰州百合试管鳞茎生长和膨大有显著的影响,且两者存在显著的交互作用。光照条件下的鳞茎生长指数和鲜重百分比均大于黑暗条件。根据生产实际,优化出的适合兰州百合鳞茎膨大的最佳组合为 2MS+蔗糖 120 g/L+NAA 0.2 mg/L,培养条件为 1 500~2 000 lx 光照 12 h/d。

## 参考文献:

- [1] XU LF, MA FW, LIANG D. Plant Regeneration from in vitro Cultured Leaves of *Lilium davidii* var. unicolor[J]. Scientia Horticulturae, 2008, 119(4): 458-461.
- [2] 齐士福. 兰州百合无公害栽培与贮运加工[M]. 兰州: 甘肃文化出版社, 2008.
- [3] 李瑞琴, 于安芬, 白 滨, 等. 兰州百合营养品质分析评价[J]. 甘肃农业科技, 2021, 52(3): 15-18.
- [4] 咸 铖. 兰州百合繁殖生物学研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2019.
- [5] 林玉红, 裴怀弟, 李淑洁, 等. 密度对旱地兰州百合干物质和养分累积的影响[J]. 北方农业学报, 2019, 47(6): 9-14.
- [6] 张红岩, 周 兴, 莫勇生, 等. 兰州百合组织培养及快速繁殖技术研究[J]. 广西科学院学报, 2015, 31(1): 49-53.
- [7] 秦新惠, 崔兴林, 陈学红, 等. 不同因子对兰州百合组培小鳞茎膨大的影响研究[J]. 林业科技通讯, 2015(12): 44-47.
- [8] 张延龙, 梁建丽, 牛立新. 东方百合试管鳞茎膨大的研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2006, 34(6): 75-78.
- [9] 任亚萍, 刘秀群, 陈龙清. 培养条件对卷丹试管鳞茎生长和膨大的影响[J]. 华中农业大学学报, 2011, 30(1): 49-53.
- [10] 张彦妮, 李兆婷, 张艳波, 等. 毛百合试管鳞茎形成和膨大的培养优化[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(4): 74-78.
- [11] 王爱勤, 周歧伟, 何龙飞, 等. 百合试管结鳞茎的研究[J]. 广西农业大学学报, 1998, 17(1): 71-75.
- [12] 牛慧婷, 杨道兰, 冯炜弘, 等. 不同因子对兰州百合组培小鳞茎诱导及膨大的影响研究[J]. 甘肃农业科技, 2022, 53(6): 66-71.
- [13] 张延龙, 张启翔, 薛晓娜. 光周期对野生卷丹试管苗鳞茎形成及糖代谢的影响[J]. 园艺学报, 2010, 37(6): 957-962.
- [14] 周玲云, 高素萍, 陈 锋. 蔗糖和光周期在泸定百合试管鳞茎膨大中的作用机制[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2016, 42(4): 435-441.
- [15] 赵海涛. 东方百合‘Siberia’试管鳞茎发育及休眠研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2009.
- [16] 张 洁, 蔡宣梅, 林 真, 等. 百合试管鳞茎诱导及膨大技术的研究[J]. 福建农业学报, 2010, 25(3): 328-331.
- [17] 刘清波, 廖兵辉, 蒋建雄, 等. 龙牙百合鳞球增重及生根培养研究[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2006, 32(4): 375-377.
- [18] KUMAR S, KASHYAP M, SHAMA D R. In vitro regeneration and bulblet growth from lily bulb scales explants as affected by retardants, sucrose and irradiance [J]. Brief Communication, 2005, 49(4): 629-632.